

Sportwiss 2014 · 44:49–59
DOI 10.1007/s12662-013-0313-9
Eingegangen: 12. Dezember 2012
Angenommen: 3. Oktober 2013
Online publiziert: 12. November 2013
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

André Klostermann

Institut für Sportwissenschaft Abteilung Bewegung und Training, Universität Bern, Bern, Schweiz

Finale Fixationen, sportmotorische Leistung und eine Inhibitionshypothese

Mechanismen des „Quiet Eye“

Vieles weist darauf hin, dass die Steigerung sportmotorischer Leistung auch auf einer aufgabenspezifischen Optimierung visuell-perzeptiver Fertigkeiten beruht und dass das Niveau dieser Fertigkeiten ein kritisches Unterscheidungsmerkmal zwischen Erfolg und Misserfolg darstellt (Mann, Williams, Ward & Janelle, 2007). Insbesondere konnte in diesem Kontext gezeigt werden, dass eine lange letzte Fixation vor Bewegungsbeginn im Zusammenhang mit besserer Leistung auftritt. Dieses als *Quiet Eye* (QE) bezeichnete Phänomen wurde erstmals von Vickers (1996) beobachtet und trifft seitdem auf intensives Interesse bei verschiedenen Arbeitsgruppen (Überblick: Vickers, 2007).

Obschon das QE damit seit mehr als 15 Jahren beforscht wird, ist weiterhin unklar, *warum* die Dauer der letzten Fixation fundamental für das Erreichen hoher sportmotorischer Leistungen sein soll. Trotz Kenntnis dieses Defizites (z. B. Causer, Bennett, Holmes, Janelle & Williams, 2010) können bis dato nur rudimentär Bestrebungen ausgemacht werden, auf theoretischer oder empirischer Ebene Mechanismen zu entschlüsseln, die diesen Zusammenhang funktional begründen.

Ziel dieses Aufsatzes ist es daher, nach einer kurzen Darstellung des Phänomens verschiedene Beiträge zur Funktionsweise des QE zu präsentieren und hinsichtlich ihres jeweiligen Erklärungswerts zu überprüfen. Darauf aufbauend wird mit der *Inhibitionshypothese* ein vereinigen-

der Ansatz vorgeschlagen, der aus einer funktionalen Perspektive die in verschiedenen Zusammenhängen gewonnenen Erkenntnisse zusammenführt. Abschließend werden Prädiktionen und Abgrenzungen ausformuliert.

Das Phänomen „Quiet Eye“

Ein positiver Zusammenhang zwischen der sportmotorischen Leistung und der Dauer der finalen Fixation konnte von Vickers (1992) erstmals in einer Studie zum Golfputt aufgezeigt werden. Dabei erbrachte eine detaillierte Analyse der Blickmuster professioneller Golfspieler, dass dieser Aspekt des Blickverhaltens sehr gut zwischen besseren und schlechteren Golfern differenzieren kann. Unter QE versteht man heute:

a final fixation or tracking gaze that is located on a specific location or object in the visuomotor workspace within 3° of visual angle (or less) for a minimum of 100 ms. The onset of the quiet eye occurs prior to the final movement, and the offset occurs naturally when the gaze deviates off the location or object by more than 3° of visual angle for a minimum of 100 ms. (Vickers, 2007, S. 11)

In frühen QE-Studien wurde noch der Zeitpunkt der Bewegungsentfaltung als das Ende der QE-Dauer berechnet; allerdings wurde mehrheitlich auch hier das tatsächliche Ende der finalen Fixation berichtet (u. a. Vickers, 1996), sodass auch diesen Studien Informationen zur Bedeu-

tung des QE-Offsets (nach heutigem Verständnis) entnommen werden können. Aktuell wird das Ende des QE regelhaft als das tatsächliche Ende der finalen Fixation bestimmt, wobei es auch hier einige wenige Ausnahmen gibt (z. B. Mann, Combes, Mousseau & Janelle, 2011).

Die Bestimmung der finalen Bewegung erfolgte zunächst über subjektive Beobachtungen (z. B. Vickers, 1996; Williams, Singer & Frehlich, 2002), sodass große inter- und intraindividuelle Unterschiede nicht auszuschließen waren (z. B. Dribbling vs. kein Dribbling des Basketballs direkt vor dem Korbwurf). Mittlerweile konnte dieser unpräzise Ansatz überwunden werden, indem regelhaft die kritische Phase einer (Ziel-)Bewegung a priori herausgearbeitet wird (z. B. Wilson, Vine & Wood, 2009) – vergleichbar etwa mit der von Göhner (1992) vorgeschlagenen Vorgehensweise zur Bestimmung der Hauptfunktionsphase einer Bewegung.

Die Bedeutung des QE nicht nur für inter-, sondern auch intraindividuelle sportmotorische Leistungsunterschiede konnte von Vickers (1996) erstmals in einer Studie zum Basketballfreiwurf empirisch aufgezeigt werden, in der das Blickverhalten und die Trefferquote professioneller Basketballspielerinnen mit einem mobilen videobasierten Eyetracking-System erfasst wurde. Auf der Grundlage von individuellen Freiwurfquoten stufte Vickers a priori 2-mal 8 Spielerinnen als Expertinnen oder Beinahe-Expertinnen ein und analysierte anschließend jeweils 10 Treffer und 10 Fehlwürfe. Es konnte

gezeigt werden, dass die Expertinnen bei Treffern eine signifikant längere QE-Dauer aufwiesen als bei Fehlwürfen. Weiterhin fand Vickers, dass, unabhängig von der Leistung, die QE-Dauer der Expertinnen mehr als doppelt so lang war wie die der Beinahe-Expertinnen. Diese Differenz resultierte einzig aus Unterschieden im Einsetzen des QE, dem QE-Onset, welches in Relation zur Bewegungsinitiierung bei den Expertinnen nahezu 3-mal früher gemessen wurde als bei den Beinahe-Expertinnen. Hingegen wurden keine Unterschiede im Zeitpunkt des QE-Offsets gefunden – ein Befund, der auch in weiteren Studien repliziert werden konnte (Überblick: Vickers, 2007).

Seit den ersten Befunden wurden bis heute etwa 70 Forschungsarbeiten zu diversen sportmotorischen Aufgaben publiziert, die einen Zusammenhang zwischen QE und sportmotorischer Leistung aufzeigen (Vickers, 2011, S. 220). Vor allem für motorische Aufgaben mit hohen Präzisionsanforderungen – also solchen Aufgaben, in denen das Leistungsmaß alleine von der Genauigkeit auf ausführender (z. B. Fangbewegung) oder resultierender (z. B. Wurf- oder Schlagbewegung) Ebene abhängt – konnten nahezu durchgehend sowohl inter- als auch intraindividuelle Unterschiede in der Ausprägung des QE (QE-Dauer, -Onset und -Offset) aufgedeckt werden (Vickers, 2007). Die Frage, ob das QE-Phänomen in Zusammenhang mit hoher sportmotorischer Leistung überzufällig auftritt, scheint daher weitestgehend geklärt und die bejahende Antwort mithin unstrittig zu sein (Mann, Williams, Ward & Janelle, 2007).

Wie aber sieht es mit der Erklärung dieses Phänomens auf theoretischer Ebene aus? Zu der Frage nach der hiermit angesprochenen Funktionsweise visueller Strategien in Präzisionsaufgaben liegen verschiedene Erklärungsversuche vor. Diese lassen sich nach dem jeweils als zentral angenommenen Zusammenhang überschreiben als „Optimierung der Bewegungsparametrisierung“, „Optimierung der Nutzung von Aufmerksamkeitsressourcen“ und „Optimierung der Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung“. Schauen wir zunächst zum besseren Verständnis etwas genauer, wie diese Ansätze begründet werden und welche konzeptuellen oder methodischen Mängel jeweils aufzuzeigen sind.

tuellen oder methodischen Mängel jeweils aufzuzeigen sind.

Optimierung der Bewegungsparametrisierung

Bereits in frühen Veröffentlichungen zum QE-Phänomen wurde die Vermutung geäußert, dass eine relativ lange finale Fixation die Vorbereitung der Bewegung unterstützt, indem die Einstellung relevanter Parameter (Krafteinsatz, Timing, Koordination der Gliedmaßen usw.) zur Ausführung der Bewegung optimiert wird (Vickers, 1996, S. 351–352). In aktuellen Beiträgen wurde diese Annahme weiter präzisiert (z. B. Vickers, 2009; Williams et al., 2002), wobei mittlerweile davon ausgegangen wird, dass die QE-Dauer eine Repräsentation der in der Vorbereitungsphase zu verarbeitenden Informationen darstellt. Nach diesem Erklärungsansatz kann bei längerer QE-Dauer eine optimale Parametrisierung erfolgen, während dies bei kürzerer QE-Dauer nicht der Fall ist, sodass eine schlechtere Leistung resultiert (Vickers, 2009, S. 283).

Diese Interpretation basiert auf dem kognitionswissenschaftlichen Ansatz der Informationsverarbeitung, nach dem koordiniertes Bewegungsverhalten auf der Aktualisierung zentral gespeicherter Repräsentationsinstanzen beruht. Nach einem der prominentesten Vertreter dieses Ansatzes, Richard A. Schmidt mit seiner Schematheorie (1975), liegen Bewegungen als generalisierte motorische Programme vor, welche durch spezifische invariante Merkmale charakterisiert sind. Zur Lösung jedweder motorischen Aufgabe bedarf es zusätzlich einer Parametrisierung relevanter Komponenten des entsprechenden Schemas, sodass unter Berücksichtigung der situativen Ausgangsbedingungen die zielbezogen aussichtsreichste Bewegungsvariante ausgeführt werden kann.

Die dem Informationsverarbeitungsansatz zugrundeliegende Computermetapher legt es nahe, einen Zusammenhang zwischen der Dauer der Bewegungsprogrammierung – oder allgemeiner: dem Umfang von Informationsverarbeitungsprozessen – und der Komplexität der Bewegung zu vermuten. Als klassisch ist hier etwa die Untersuchung von

Henry und Rogers (1960) anzuführen, in der gezeigt werden konnte, dass mit zunehmender Anzahl an Bewegungselementen einer motorischen Aufgabe (z. B. Anheben eines Fingers vs. Anheben eines Fingers mit anschließender Greifbewegung zu einem Ball) die jeweiligen Reaktionszeiten, also die Zeiträume zwischen Darbietung eines imperativen Stimulus und Bewegungsinitiierung, ansteigen. Die Autoren schlussfolgerten, dass mit zunehmender Komplexität zusätzliche Zeit benötigt wird, um die jeweiligen motorischen Programme aus dem Langzeitgedächtnis in den Arbeitsspeicher zu laden. Dieser Zusammenhang zwischen Aufgabenanforderung und Reaktionszeit scheint sehr robust zu sein und kann auch in aktuellen Arbeiten noch durchgehend repliziert werden (Überblick: Klapp, 2010). Eine Gesetzmäßigkeit, die in diesem Kontext ebenfalls von Bedeutung ist, ist der nach William Edmund Hick benannte Zusammenhang zwischen der Anzahl der Wahlmöglichkeiten und der Reaktionszeit (Hick, 1952): Mit steigender Wahlmöglichkeit (etwa Einfach- verglichen mit Wahlreaktionszeitaufgaben) nimmt die benötigte Reaktionszeit logarithmisch zu.

Ein entsprechender Zusammenhang zwischen der Aufgabenschwierigkeit und der Dauer des QE konnte von Williams et al. (2002) aufgezeigt werden. Im Zentrum dieser Studie stand der Einfluss unterschiedlich schwieriger Billardbilder auf das Blickverhalten besserer und schlechterer Billardspieler. Unter der Annahme, dass mit zunehmender Schwierigkeit die Anzahl der für diese Bewegung zu verarbeitenden Informationen und damit die Vorbereitungszeit ansteigt, wurde auch ein entsprechender Anstieg in der QE-Dauer erwartet. Tatsächlich wurden komplexere Billardbilder länger vorbereitet als weniger komplexe. Darüber hinaus wurde aufgezeigt, dass die QE-Dauer für beide Expertiseniveaus mit steigender Komplexität zunahm (bei den besseren Spielern sogar noch ausgeprägter als bei den schlechteren Spielern). Es konnte also eine Verbindung zwischen der Aufgabenschwierigkeit, der Dauer der Bewegungsvorbereitung und dem QE aufgezeigt werden, sodass die Dauer des QE tatsächlich von der Menge an zu ver-

arbeitenden Informationen abzuhängen scheint. Dementsprechend schlussfolgerten die Autoren: „The quiet eye period is related to the amount of time spent in the response-programming stage of the information-processing model“ (Williams et al., 2002, S. 205).

Auch auf neurophysiologischer Ebene wurde nach Korrelaten geforscht, die einen Zusammenhang zwischen der QE-Dauer und der Bewegungsprogrammierung nahelegen. So untersuchten Mann, Coombes, Mousseau und Janelle (2011) Zusammenhänge zwischen dem sog. Bereitschaftspotenzial (BP) und der QE-Dauer. Das BP gehört zu der Klasse der ereigniskorrelierten Potenziale und wird als Indikator für die Vorbereitung von Bewegungen verstanden (Jahanshahi & Hallet, 2003). Insbesondere die späte (BP_{late}) und die maximale (BP_{peak}) Ausprägung des BP sind aus sportwissenschaftlicher Sicht von Relevanz, da vielfach ein hoher Anstieg in der Negativität des Potenzials kurz vor der Bewegungsausführung bei resultierender hoher sportmotorischer Leistung beobachtet werden konnte (etwa im Sportschießen: u. a. Konttinen, Lyytinen & Era, 1999). In ihrer Untersuchung mit Golfspielern konnten Mann et al. (2011) einen Zusammenhang zwischen der BP_{peak} in zentralen kortikalen Regionen und der Dauer des QE aufzeigen, also eine ansteigende Negativität des BP mit zunehmender QE-Dauer. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Ergebnisse die Annahme der Optimierung von Programmierungsprozessen weiter stützen, da beide Phänomene in Beziehung zur Effizienz und Qualität motorischer Informationsverarbeitung stünden (Janelle et al., 2000).

Im Hinblick auf die kognitive theoretische Fundierung konnten also alle bisher zitierten Arbeiten empirisch zeigen, dass die Dauer des QE in einem Zusammenhang mit der Dauer der Bewegungsvorbereitung steht und diese wiederum den Umfang an Informationsverarbeitungsprozessen zu repräsentieren scheint. Als problematisch erweist sich allerdings der durchgängig korrelative Ansatz, der den letztlichen Nachweis vermissen lässt, ob längere QE-Dauern tatsächlich die bessere Leistung verursachen oder vielleicht nur als – an sich nicht wirksames – Nebenprodukt

Sportwiss 2014 · 44:49–59 DOI 10.1007/s12662-013-0313-9
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

A. Klostermann

Finale Fixationen, sportmotorische Leistung und eine Inhibitionshypothese. Mechanismen des „Quiet Eye“

Zusammenfassung

Vielfach konnte in den letzten Jahren die Bedeutung einer langen letzten Fixation vor Bewegungsbeginn – des *Quiet Eye* – für die sportmotorische Leistung aufgezeigt werden. Obgleich dieses Phänomen breit untersucht wurde, mangelt es bislang an einer zufriedenstellenden Erklärung. In diesem Beitrag werden daher aktuelle Erklärungsversuche diskutiert. Es zeigt sich, dass vorliegende Beiträge aus der Kognitions- und der ökologischen Psychologie konzeptuelle oder methodische Mängel aufweisen. Aus diesen Gründen wird – zunächst für Aufgaben mit hohen Präzisionsanforderungen – ein Inhibitionsmechanismus zur Erklärung des

Quiet-Eye-Phänomens vorgeschlagen mit der zentralen Aussage, dass die Verarbeitung leistungsrelevanter Hinweisreize durch ein *ruhiges Auge* von Störungen abgeschirmt wird. Abschließend kann gezeigt werden, dass sich der vorgeschlagene Mechanismus mit der bestehenden Befundlage als kompatibel erweist und er die Ableitung weitergehender Vorhersagen erlaubt.

Schlüsselwörter

Blickbewegung · Quiet Eye · Inhibitionshypothese · Funktionale Perspektive · Präzisionsaufgaben

Final fixations, motor performance and an inhibition hypothesis. Mechanisms of the “quiet eye”

Abstract

Over recent years, it has repeatedly been demonstrated that a longer final fixation (the so-called *quiet eye*) is beneficial for motor performance. Although this phenomenon has been broadly studied, a satisfying explanation is still lacking. Discussing explanations for the quiet eye benefit, it becomes apparent that contributions from both, cognitive and ecological frameworks, still exhibit conceptual and methodological problems. Therefore, (for a start, for precision tasks) an inhibition mechanism is proposed with the

central assumption that the quiet eye shields the processing of performance-relevant cues from interferences. The proposed mechanism proves to be compatible with the current state of research and allows for the deduction of novel predictions.

Keywords

Gaze behavior · Quiet eye · Inhibition hypothesis · Functional perspective · Precision tasks

mit besserer Leistung einhergehen. Hinweise für eine tatsächliche Funktionalität lassen sich zwar bei Vine und Wilson (2010, 2011) finden, die in zwei Interventionsstudien aufzeigen konnten, dass ein gezieltes QE-Training nicht nur zu einer deutlich größeren Steigerung der QE-Dauer, sondern darüber hinaus auch zu einer besseren motorischen Leistung in Retentionstests führt. Mehr als Hinweise vermögen jedoch diese Arbeiten nicht zu liefern, da weiterhin unklar bleibt, ob die Veränderungen der motorischen Leistung tatsächlich aus unterschiedlichen Dauern des QE resultierten oder nicht vielleicht auch auf Unterschiede in der Art der Lerngestaltung (s. „Optimierung der Nutzung von Aufmerksamkeitsressourcen“) zurückge-

führt werden könnten. Diese Einschränkung ist auch für eine kürzlich von Moore, Vine, Cooke, Ring und Wilson (2012) vorgelegte Studie aufrechtzuerhalten, in der die Wirksamkeit einer QE-Intervention nicht nur auf resultierender Ebene (Anzahl gelochter Bälle), sondern auch für kinematische (Beschleunigung des Putterkopfes) und physiologische Variablen (Herzschlag und Muskelaktivität) gezeigt werden konnte. Zwar erlauben die Befunde einen tieferen Einblick in QE-Zusammenhänge und plausibilisieren die Wirksamkeit des QE als Lernvariable; nichtsdestoweniger vermögen auch diese Resultate aufgrund des korrelativen Designs den tatsächlichen Wirkzusammenhang nicht aufzudecken.

Dieses Desiderat aufgreifend, wurde von Klostermann, Kredel und Hossner (2013) ein Paradigma zur Überprüfung eines funktionalen Zusammenhangs präsentiert. Zentral für diese Methodik ist die experimentelle Kontrolle sowohl der Bewegungsphasen einer Zielwurfbewegung (durch Tonvorgaben) als auch des Zeitpunkts der Präsentation des zu treffenden Ziels (auf einer Großleinwand). Auf diese Weise ist es möglich, das QE-Onset kontrolliert zu beeinflussen und somit die QE-Dauer direkt zu manipulieren. In Folge von experimentellen Veränderungen der QE-Dauer – nun als unabhängige Variable – sollten dann auf der abhängigen Seite Veränderungen der motorischen Leistung gemessen werden. Zusammenfassend ergaben sich in der Anwendung dieses Paradigmas die folgenden zwei Resultate: Zum Ersten wurden tatsächlich in Abhängigkeit von zwei verschiedenen QE-Dauer-Bedingungen (kurz vs. lang) unterschiedliche Wurfleistungen gefunden, mit einer besseren Leistung bei längerer als bei kürzerer QE-Dauer. Somit wurde experimentell untermauert, was bis dahin nur plausibilisiert werden konnte: Das QE scheint funktional zu wirken und nicht nur eine Begleiterscheinung hoher sportmotorischer Leistung darzustellen. Zum Zweiten zeigten sich diese Unterschiede in der Wurfleistung aber nur unter der Bedingung relativ hoher Aufgabenanforderungen. Hierzu wurde – basierend auf den oben skizzierten Befunden zum Zusammenhang zwischen Anzahl an Wahlmöglichkeiten und Reaktionszeit (z. B. Hick, 1952) – die Wahrscheinlichkeit manipuliert, mit der das zu treffende Ziel an immer derselben oder an einer von zwei möglichen finalen Positionen erschien (100 % vs. 50 % Vorhersagewahrscheinlichkeit). Eine Testung dieser beiden Anforderungen unter kurzer vs. langer QE-Dauer erbrachte, dass allein in der Bedingung mit höherer Anforderung, in welcher also die finale Zielposition nicht prädictierbar war, die lange QE-Dauer einen positiven Einfluss auf die Wurfleistung hatte. Hingegen wurde in der Bedingung, in der das Ziel final immer an vorhersagbarer Stelle erschien, unter kurzer und unter langer QE-Dauer eine nicht signifikant unterschiedliche Wurfleistung erzielt.

Dieser Befund ist durchaus kompatibel mit den hier behandelten kognitiven Erklärungsansätzen des QE-Phänomens, denn in der 100 %-Bedingung sollte es möglich gewesen sein, die Wurfbewegung noch *vor* Erscheinen des Stimulus vorzuprogrammieren, mit der Folge, dass sich die Menge an noch zu verarbeitenden Informationen innerhalb der QE-Spanne deutlich verringert. Hingegen konnten in der 50 %-Bedingung aufgabenspezifische Informationen erst *nach* dem Erscheinen der Zielscheibe verarbeitet werden, so dass bei kürzerer QE-Dauer nicht ausreichend Zeit zur Verfügung stand, um die notwendige Bewegungsprogrammierung optimal auszuführen. Eine längere QE-Dauer scheint nach diesen Befunden also nur dann funktional für die Ausführung motorischer Aufgaben zu sein, wenn ein gewisses Maß (hier: die Reduktion der Vorhersagewahrscheinlichkeit auf mindestens 50 %) aufgabenrelevanter Informationen über die Dauer der QE-Phase hinweg verarbeitet werden muss (hier: die Position des zutreffenden Ziels im Raum). Im Anschluss an diese Befunde steht die empirische Überprüfung noch aus, inwieweit die Interpretation eines schwellenüberschreitenden Maßes an zu verarbeitender Information auch für andere Aspekte der Informationsverarbeitung hält, bspw. also für Anforderungen an die visuelle Informationsverarbeitung bei dreidimensionalen Zielen, da in sportlichen Aufgaben Ziele natürlich nicht wie im experimentellen Setting dadurch gekennzeichnet sind, dass sie mehr oder weniger vorhersehbar an andere Orte springen. Betrachtet man den durch die Resultate aufgedeckten Wirkungszusammenhang jedoch grundsätzlich, kann er durchaus als starkes Argument für die Hypothese herangezogen werden, dass es Informationsverarbeitungsprozesse sind, die der positiven Wirkung langer QE-Dauern zugrunde liegen.

Was allerdings auch nach diesem experimentellen Nachweis in einem kognitiven Erklärungsrahmen schwer erklärbar ist, ist der oben berichtete Befund, dass (resultierend aus Unterschieden im QE-Onset) bei Experten/-innen das QE mitunter doppelt so lange ausfällt wie bei Noviz/-innen (Vickers, 2007) – wo doch für dieselbe motorische Aufgabe lange

QE-Dauern mit zunehmender Expertise eigentlich ihre Relevanz für das Erreichen hoher Leistung verlieren sollten. An dieser Stelle sei an klassische Phasenmodelle zum motorischen Lernen erinnert. So findet man etwa bei Fitts und Posner (3-Phasen-Modell, (1967), dass in einer dritten, der autonomen Phase, motorische Fertigkeiten nahezu *automatisch* ausgeführt werden können, was auf eine hohe Ökonomisierung der Bewegungsausführung hindeutet und eben *nicht* gestiegene Anforderungen an die Bewegungsprogrammierung vermuten lassen würde. Hierzu passen – wie bereits oben angedeutet – empirische Befunde, nach denen Programmierungsanforderungen mit zunehmender Erfahrung eher abnehmen, in keinem Fall aber zunehmen. Aktuell konnte dies etwa von Maslovat, Hodges, Chua und Franks (2011) in einem Interventionsdesign (4 Tage) gezeigt werden, die für kürzere (20° Extension) und längere (40° Extension) einhändige Zielbewegungen in Retentionstests tendenziell kürzere Reaktionszeiten fanden. Hält man nun (allein) an der bisher diskutierten Parametrisierungsfunktion des QE fest, müsste eine entsprechende Entwicklung des QE zu beobachten sein, also eine QE-Dauer, welche sich mit zunehmender motorischer Expertise an den Umfang der vorzunehmenden Prozessierungen anpasst und sich deshalb verkürzt, in keinem Fall aber verlängert. Berichtet wird mit zunehmender Expertise aber genau die entgegengesetzte Entwicklung. Da dieser Widerspruch in der bisherigen QE-Literatur noch völlig unbeachtet blieb, ist in dieser Sache noch erheblicher Forschungsbedarf auszumachen.

Optimierung der Nutzung von Aufmerksamkeitsressourcen

In einem ebenfalls kognitiv fundierten Erklärungsansatz gehen Vine und Wilson (2010, 2011; Moore et al., 2012) davon aus, dass durch eine verlängerte QE-Dauer die Kontrolle der Aufmerksamkeit in der Bewegungsausführung optimiert wird. Dabei stützen sich die Autoren auf die Theorie eines dualen Aufmerksamkeitssystems (u. a. Corbetta & Shulman, 2002). Im Zentrum dieser Theorie steht die Annahme, dass visuelle Aufmerksam-

keit sowohl „bottom up“ (stimulusgetrieben) als auch „top down“ (zielgetrieben) kontrolliert werden kann, sodass das sensorimotorische System mehr oder weniger anfällig auf störende Reize reagiert. Vine und Wilson (2010, 2011) nehmen nun an, dass in der Phase des QE, wenn das okulomotorische System stabilisiert ist und lediglich die zur Lösung der Aufgabe relevanten Bereiche fixiert werden, Top-down-Mechanismen unterstützt werden, sodass störende optische Einflüsse aus der Umwelt ausgeblendet werden können. Durch eine in dieser Weise auf das zu erreichende Ziel hin ausgerichtete und in der Konsequenz ressourcenschonende Aufmerksamkeitskontrolle sollen Prozesse der Informationsverarbeitung und Bewegungsprogrammierung störungsfrei ablaufen (Vine & Wilson, 2011, S. 341), da die begrenzten kognitiven Ressourcen in der QE-Phase nur minimal belastet und die dadurch eingesparten Ressourcen für andere Aufgaben verwendet werden können (in diesem Fall: für die Bewegungsparametrisierung).

Untersucht wurde dieser Erklärungsansatz ausschließlich unter Verwendung experimentell kontrollierter Drucksituationen, in denen Sportlerinnen und Sportler, hypothetisch aufgrund einer dysfunktionalen Aufmerksamkeitskontrolle, regelhaft schlechtere Leistungen zeigten als unter störungsfreien Bedingungen (u. a. Beilock & Carr, 2001). Diese Leistungsstörung wird mit der Attentional-control-Theorie (ACT) erklärt (Eysenck, Derakshan, Santos & Calvo, 2007), die Vorhersagen für den Wechsel der Aufmerksamkeitskontrolle von Top-down- zu Bottom-up-Mechanismen und umgekehrt erlaubt. In Drucksituationen werden danach Top-down-Prozesse gestört, sodass die Aufmerksamkeit zunehmend bottom-up kontrolliert werden muss und interne und externe Störreize die Leistung vermindert negativ beeinflussen.

In einer Studie zum Basketballfreiwurf konnten Wilson et al. (2009) zeigen, dass durch eine Erhöhung der Drucksituation in der Tat sowohl die Trefferquote als auch die Dauer des QE im Vergleich zu einer regulären Druckbedingung deutlich zurückgehen (s. auch Behan & Wilson, 2008). Interessanterweise konnten dabei druckbedingte Unterschiede in der

QE-Dauer nicht auf signifikante Rückgänge im QE-Onset zurückgeführt werden, sodass die Autoren folgerten, dass eine zu frühe Störung der bereits initiierten finalen Fixation für den Rückgang der QE-Dauer verantwortlich sein müsse. Weiterführend wurde von Vine und Wilson (2010, 2011) in zwei Interventionsstudien zum Golfputt und erneut zum Basketballfreiwurf überprüft, ob durch okulomotorisches Training störende Effekte erhöhter Drucksituationen reduziert werden können, was unter der Annahme einer optimierten Aufmerksamkeitskontrolle zu erwarten wäre. In beiden Studien zeigten die Experimentalgruppen, welche ein zusätzliches QE-Training erhielten, unter erhöhten Druckbedingungen ein deutlich stabileres motorisches Leistungsniveau als die Kontrollgruppen. Entsprechend konnte unter Druckbedingungen ein Rückgang der QE-Dauer für die Kontrollgruppe beobachtet werden, wohingegen die Experimentalgruppen das Niveau der Retentionstests halten konnten (Vine & Wilson, 2011) oder der Rückgang eine kritische Grenze zumindest nicht unterschritt (Vine & Wilson, 2010, S. 372). Zusammenfassend konnten also gezeigt werden, dass QE-Interventionen durch Drucksituationen evozierte Leistungseinbußen reduzieren oder sogar nivellieren können (s. auch Moore et al., 2012). Weiterhin stützen vor allem die Resultate der QE-trainierten Gruppe die Annahme, dass ein langes QE zumindest in Drucksituationen aufgabenspezifisch die Kontrolle der Aufmerksamkeit optimiert, sodass Top-down-Prozesse länger aufrechterhalten bleiben und Distractionen aus der Umwelt erfolgreich ausgeblendet werden können.

Aus theoretischer Perspektive ist an den skizzierten Studien zu ressourcenbezogenen Erklärungen des QE-Phänomens zu kritisieren, dass die ACT nicht als generelle Theorie der Aufmerksamkeitskontrolle betrachtet werden darf, da diese ausschließlich für Situationen mit experimentell kontrollierten Druckbedingungen geprüft wurde (Eysenck et al., 2007, S. 337). Daraus resultiert, dass die Erklärungsweite der optimierten Nutzung von Aufmerksamkeitsressourcen (zumindest in der aktuellen Fassung) auf eben solche Situationen beschränkt werden muss, in

denen Sportlerinnen und Sportler unter Druck handeln. Für eine weiterführende Verallgemeinerung bedarf es also zusätzlicher Studien, in denen zu überprüfen wäre, ob auch in Situationen ohne zusätzliche Druckbedingungen in der Phase des QE eine Schonung limitierter kognitiver Ressourcen beobachtet werden kann. Denkbar wäre in diesem Zusammenhang eine Überprüfung der Leistungsdienlichkeit des QE in Situationen, in denen neben einer motorischen eine weitere (kognitive) Aufgabe zu lösen ist (sog. Doppelaufgaben-Paradigma).

Hinzugefügt werden muss, dass Vine und Wilson (2010, 2011) positive Effekte des QE ausschließlich in den Experimentalgruppen beobachten konnten. Somit scheint ein QE nur dann druckbedingte Leistungseinbußen reduzieren zu können, wenn zuvor explizit instruiert wurde, aufgabenspezifische Hinweisreize (auch mental) zu fokussieren. Diese Abhängigkeit steht allerdings insofern im Widerspruch zur empirischen Befundlage, dass inter- und intraindividuelle QE-Effekte in der Regel unabhängig von Druckbedingungen, Trainingsmaßnahmen oder spezifischen Blickbewegungsinstruktionen gefunden werden (vgl. Klostermann et al., 2013; Vickers & Lewinski, 2012). Aufgrund dessen muss die Reichweite des postulierten Ressourcenansatzes auf eben diese Bedingungen – Leistungsdienlichkeit längerer QE-Dauern in (relativ praxisnahen) Situationen erhöhter Druckbedingungen und nach entsprechender Intervention oder bei größerer sportmotorischer Vorerfahrung (Vickers & Williams, 2007) – beschränkt werden; eine Verallgemeinerung würde hingegen der weitergehenden empirischen Überprüfung bedürfen.

Optimierung der Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung

Basierend auf dem ökologischen Ansatz der Wahrnehmungstheorie nach Gibson (1979) gehen Oudejans und Mitarbeiter (u. a. Oudejans, van de Langenberg & Hutter, 2002) davon aus, dass es weniger die Dauer als vielmehr der Zeitpunkt der visuellen Informationsaufnahme ist, der für das Gelingen einer motorischen Präzisionsaufgabe von entscheidender

Bedeutung ist. Zentral für diesen Ansatz ist die Annahme einer direkten Kopplung zwischen Wahrnehmung und Handlung, wonach (visuelle) Informationen in der Umwelt direkt zur Verfügung stehen und daher auch unmittelbar für die Bewegungsausführung genutzt werden können ("direct information pick-up"). Daraus lässt sich die Erwartung ableiten, dass ausführungsbegleitende (statt -vorbereitende) visuelle Informationen am relevantesten sind und zur Online-Kontrolle von Bewegungen verwendet werden (u. a. de Oliveira, Oudejans & Beek, 2006).

Im Hinblick auf das hier diskutierte Phänomen ist damit natürlich festzustellen, dass aufgrund der nachgeordneten Bewertung der Dauer der Informationsaufnahme der Ansatz zur Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung gar nicht unmittelbar auf das QE bezogen werden kann. Nichtsdestoweniger darf jedoch festgehalten werden, dass der Ansatz die QE-relevante Vermutung nahelegt, dass auch Aspekte der Online-Bewegungskontrolle eine wichtige Rolle spielen, so bspw. bei sich ändernder Bewegungsdynamik oder unter erhöhtem Zeitdruck, insbesondere also dann, wenn der späten Fixationsphase und dem QE-Offset eine erhöhte Bedeutung zukommt. Aus diesen Gründen gilt es, auch die Ergebnisse der ökologisch ausgerichteten Arbeiten für die Entwicklung zukünftiger Forschungsfragen zur Funktionalität des QE zu berücksichtigen.

Die durch die Präferenz der Online-Kontrolle in den Fokus gerückte Bedeutung des Timings der Informationsaufnahme für die Trefferleistung wurde von Oudejans et al. (2002) im Basketballsprungwurf untersucht. In einem Okklusionsansatz wurde mit Hilfe einer Plato-liquid-crystal-Brille die Sicht von Basketballspielern in Abhängigkeit der Bewegungsphase (vor bzw. nach dem Moment, an dem der Ball die Sichtlinie zwischen Kopf und Korb nach oben passiert) aus- oder eingeblendet, sodass die visuelle Informationsaufnahme entweder nur in einer frühen oder nur in einer späten Phase der Bewegung möglich war. Es zeigte sich, dass die Spieler mit einer sog. High-style-Technik, in der der Ball in dem Moment vor der finalen Wurfbewegung über dem Kopf stabilisiert wird, eine sig-

nifikant bessere Wurfleistung erreichten, wenn sie in der späten Wurfphase Informationen sammeln konnten. Hingegen erreichten die Spieler mit der sog. Low-style-Technik, in der Hände und Ball final vor dem Gesicht stabilisiert werden, die höchste Trefferquote, wenn in einer frühen Bewegungsphase Informationen verfügbar waren. Die Autoren schlussfolgerten, dass in Abhängigkeit von der individuellen Bewegungsstrategie entweder frühe oder späte visuelle Informationen für die Bewegungskontrolle herangezogen werden (de Oliveira, Oudejans & Beek, 2008). Die Relevanz der späten Informationsaufnahme konnte weiterhin von de Oliveira, Huys, Oudejans, van de Langenberg und Beek (2007) aufgezeigt werden, die bei High-, aber auch bei Low-style-Shootern gleichermaßen erhebliche Einbußen in der Wurfleistung fanden, wenn die Aufnahme später visueller Informationen verhindert und die Ausführung des Abwurfes zeitlich verzögert wurde (zum Zeitpunkt der Okklusion vs. eine Sekunde vs. zwei Sekunden nach der Okklusion). Würden Low-style-Shooter ihre Wurfbewegung ausschließlich vorprogrammieren, wären Leistungsunterschiede zwischen den beiden Gruppen zu erwarten gewesen und nur ein gradueller Leistungsabfall bei den Low-style-Shootern. Auch der Befund, dass Low-style-Shooter bei fortlaufend alternierender freier oder okkludierter Sicht ihre Bewegungsausführung zeitlich so rhythmisieren, dass möglichst aktuelle Informationen vor der finalen Stabilisierung der Hände und des Balls gesammelt werden können, unterstützt eher die Annahme der Online-Kontrolle bei dynamischen Zielaufgaben (de Oliveira et al., 2006).

Aus empirischer Perspektive muss kritisch angemerkt werden, dass im Gegensatz zu den zuvor präsentierten Ansätzen der Bezug zwischen Fixationsdauer und motorischer Leistung nicht hergestellt werden kann, da bei den psychoökologisch inspirierten Arbeiten alleine das Timing der Informationsaufnahme (früh vs. spät) im Zentrum des Forschungsinteresses stand. Hieraus folgt, dass auf der Basis der vorgelegten Befunde die Bedeutung der frühen Phase der finalen Fixation – wie vor allem im Ansatz der optimierten Bewegungsparametrisie-

rung herausgestellt – ganz grundsätzlich nicht in Frage gestellt werden darf. Weiterhin ist zu kritisieren, dass in der deutlichen Mehrzahl der für die QE-Forschung relevanten Arbeiten mit psychoökologischem Hintergrund Blickbewegungen nicht erfasst wurden, sodass völlig unklar ist, ob überhaupt die finale Fixation (und damit das QE) untersucht wurde (einzige Ausnahme: de Oliveira et al., 2008). Aufgrund dieses Mangels fehlen empirische Daten, welche die Relevanz der späten Phase der finalen Fixation eindeutig aufzeigen könnten.

Unvereinbarkeiten und eine funktionale Alternative

Theoretische Überlegungen und empirische Befunde verweisen zusammenfassend auf drei Ansätze, welche für Aufgaben mit hohen Präzisionsanforderungen eine Aufgabendienlichkeit des QE zur Erreichung hoher sportmotorischer Leistung erklären könnten. Im ersten Ansatz wird postuliert, dass eine lange QE-Dauer in der Phase vor der Bewegungsinitiierung Informationsverarbeitungsprozesse optimiert, sodass die Bewegung bestmöglich parametrisiert werden kann. Empirisch konnte hierzu ein Zusammenhang zwischen der Aufgabenkomplexität samt erforderlichen Informationsverarbeitungsprozessen und der QE-Dauer aufgezeigt werden. Die Vertreter des Ansatzes einer optimierten Nutzung von Aufmerksamkeitsressourcen gehen hingegen davon aus, dass das QE Prozesse der Aufmerksamkeitskontrolle optimiert, sodass begrenzte kognitive Ressourcen bestmöglich verteilt werden. In der Konsequenz stehen zusätzliche Ressourcen zur Verfügung, sodass eine Parametrisierung der Bewegung störungsfrei erfolgen kann. Diese Annahme konnte durch den verminderten negativen Einfluss von Wettkampfdruck auf die sportmotorische Leistung aufgrund verlängerter QE-Dauern unterstützt werden. Demgegenüber wird im dritten Ansatz die generelle Bedeutung der Länge der finalen Fixation in Frage gestellt und stattdessen die an die motorische Aufgabe angepasste Zeitstruktur der Online-Informationsaufnahme in den Fokus gerückt. Entsprechende empirische Befunde lieferten Ok-

klusionsstudien, in denen gezeigt werden konnte, dass abhängig von der Bewegungstechnik unterschiedliche Zeiträume zur Informationsaufnahme die motorische Leistung mehr oder weniger beeinflussen.

Zu allen drei Ansätzen konnten konzeptuelle oder methodische Mängel aufgezeigt werden, sodass die Frage nahe liegt, inwieweit diese Mängel im Zuge konvergenter Betrachtungen zu reduzieren wären. Aus grundsätzlichen Erwägungen heraus muss jedoch zu dieser Frage *zunächst* konstatiert werden, dass aufgrund mangelnder theoretischer Ausformulierung (Ansatz 1 vs. Ansatz 2: Prozesse vs. Ressourcen) sowie einer Unvereinbarkeit der theoretischen Perspektiven (Ansätze 1 + 2 vs. Ansatz 3: Kognitionspsychologie vs. Psychoökologie) der Versuch einer Zusammenführung der angenommenen Funktionsweisen nicht gelingen kann, wenn dieser Versuch im Sinne einer *theoretischen Addition* angegangen würde. Zum erstgenannten Problem findet man zwar bei Vine und Wilson (2010, 2011) die Aussage, dass das QE die Schonung von Aufmerksamkeitsressourcen zur optimierten Bewegungsparametrisierung unterstütze, allerdings mangelt es bis dato an einer präzisierten Ausformulierung, wie genau denn die Parametrisierung von diesen zusätzlichen Ressourcen profitieren und wie genau das QE an diesen Prozessen beteiligt sein sollte. Was das zweitgenannte Problem der grundsätzlich unvereinbaren Perspektiven angeht, besteht die Schwierigkeit darin, dass kognitionspsychologische Ansätze die Bedeutung der QE-Dauer als Repräsentation der Güte kognitiver Verarbeitungsprozesse hervorheben, der psychoökologische Ansatz hingegen allein auf die Bedeutung des Timings der visuellen Informationsaufnahme verweist und dabei die Beteiligung kognitiver Prozesse prinzipiell ausschließt. Es liegt also auf der Hand, dass die stark divergierenden Grundannahmen eine einfache Zusammenführung verhindern.

Eine Möglichkeit, sich trotz dieser Schwierigkeiten erfolgreich an einer nichtwidersprüchlichen Erklärung des QE-Phänomens zu versuchen, könnte darin bestehen, die in den bisher skizzierten Ansätzen gewählten theoretischen

Einschränkungen zu durchbrechen, indem man einen Erklärungsrahmen mit hohem Konvergenzpotenzial wählt. Als aussichtsreich in diesem Sinne mag sich ein evolutionär-funktionaler Erklärungsrahmen erweisen (Neumann, 1992a). Ausgehend von der Annahme, dass der Mensch aufgrund phylogenetischer Optimierungsprozesse als zweckmäßiges System zu betrachten ist, wäre dann der Frage nachzugehen, auf welche zweckmäßigen *Mechanismen* das untersuchte empirische Phänomen zurückgeführt werden könnte. Die funktionale Betrachtungsweise fordert den Forscher (unabhängig von *theoretischen Arrangements*, Neumann, 1992a, S. 27–28) dazu auf, verschiedenste Perspektiven einzunehmen, um das Phänomen möglichst als Gesamtes zu erfassen. Neumann (1992a) verdeutlicht diesen Zugang anhand der funktionalen Betrachtung des Konzepts der selektiven Aufmerksamkeit am Beispiel des Apfelpflückens: Befindet man sich in der Situation, einen Apfel von einem Baum zu pflücken, ist nicht nur das Problem zu lösen, welcher Apfel ausgewählt werden soll, sondern es muss auch sichergestellt sein, dass die verschiedenen Handlungsparameter durch ein und denselben Apfel spezifiziert werden. Um diese Probleme adäquat zu lösen, postuliert er einen Mechanismus, der für die Selektion perzeptiver und sensorischer Parameter zuständig ist. Ein solcher *Selection-for-action*-Mechanismus (vgl. auch Allport, 1987) wäre hilfreich, um in komplexen Situationen nur *eine* relevante Handlungsalternative zu parametrisieren und nicht alle möglichen (Neumann, 1992b, S. 94). Die funktional-evolutionäre Zweckmäßigkeit eines solchen Mechanismus liegt auf der Hand.

Im Gegensatz zu dem weiter oben skizzierten Ressourcenansatz wird in dem funktionalen Ansatz die Beschränkung der Aufmerksamkeit also nicht auf begrenzte kognitive Ressourcen oder eine beschränkte Rechenkapazität des Gehirns zurückgeführt, sondern dadurch erklärt, dass zur Lösung einer Aufgabe Bewegungsvarianten nicht simultan ausgeführt werden können und sich daher die Notwendigkeit der Hemmung ergibt, um die Gefahr von Interferenzen zu reduzieren. In der Folge postuliert Neumann

(1992b, S. 92) für das exemplarisch behandelte Phänomen der Aufmerksamkeit (u. a.) einen Inhibitionsmechanismus, der für die Lösung des Konkurrenzproblems zwischen Bewegungsvarianten zuständig sein soll: Da vor und während der Bewegungsausführung offene Parameter spezifiziert werden müssen (Handlungsziele, Innervationsmuster u. a. m.), sollte jeder Parameter zu einer Zeit durch nur genau einen Wert belegt sein – was eben dadurch sichergestellt wird, dass alternative Parameterspezifikationen gehemmt werden (Neumann, 1992b, S. 95–96).

Adaptiert man den von Neumann (1992a, b) vorgeschlagenen Hemmmechanismus auf das hier interessierende Erklärungsproblem des QE-Phänomens, gelangt man zu einer *Inhibitionshypothese* für die Erklärung des Vorteils langer finaler Fixationen vor Bewegungsbeginn, die den bislang als unvereinbar diskutierten Ansätzen die angestrebte Konvergenzbasis bietet: Für Situationen erhöhter Interferenz (vgl. „Optimierung der Nutzung von Aufmerksamkeitsressourcen“) bedeutete dies, dass alternative Bewegungsvarianten gehemmt werden, sodass die zur Aufgabenlösung geeignetste Bewegungsvariante sowohl offline (vgl. „Optimierung der Bewegungsparametrisierung“) als auch online (vgl. „Optimierung der Wahrnehmungs-Handlungskopplung“) optimal parametrisiert werden kann.

Das konvergente Potenzial des angenommenen Inhibitionsmechanismus zeigt sich jedoch nicht nur in Situationen erhöhten Wettkampfdrucks, sondern erlaubt darüber hinaus, auch weitere der oben genannten QE-Befunde zu integrieren. Komplexere Aufgaben wären in diesem Sinne dadurch gekennzeichnet, dass in größerer Zahl Bewegungsvarianten bereitgehalten werden müssen, sodass es zur Erreichung größtmöglicher Präzision längere QE-Dauern bräuchte, um die Parametrisierung der weniger geeigneten Varianten zu inhibieren. Und Unterschiede in der Relevanz der frühen oder späten Phase der finalen Fixation sollten immer dann in Abhängigkeit zu verschiedenen Bewegungsstrategien stehen, wenn die Initiierung der kritischen Phase zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der Bewegung stattfindet, sodass entweder früh

oder spät in der Bewegungsplanung und -durchführung die Parametrisierung alternativer Bewegungsvarianten inhibiert werden muss, um etwa im Basketball den Korb zu treffen.

Insbesondere ist aber herauszustellen, dass der postulierte Inhibitionsmechanismus auch eine Erklärung für erfahrungsbedingte Unterschiede in der QE-Dauer bereitstellt – also für das oben skizzierte Phänomen längerer QE-Dauern in der Bewegungsvorbereitung bei Expert/innen im Vergleich zu Nichtexpert/innen, welches durch bislang vorliegende Erklärungsansätze gar nicht (!) erklärt werden kann und für das in der Tendenz sogar gegenteilige Vorhersagen ableitbar wären. So ist im Hinblick auf die Inhibitionshypothese anzunehmen, dass die Dauer des vorangegangenen Lernprozesses einen bedeutsamen Einfluss auf die Anzahl erlernter Bewegungsvarianten haben sollte, die zur Lösung einer motorischen Aufgabe geeignet sind. Hieraus ergibt sich aber nicht nur der Vorteil, in einer gegebenen Situation eine Vielzahl möglicher Varianten zur Lösung der Aufgabe zur Verfügung zu haben, sondern auch das gesteigerte Problem, unter Vermeidung von Interferenzen nur die geeignete Variante zu parametrisieren. Auf den hier vorgeschlagenen Inhibitionsmechanismus übertragen würde dies bedeuten, dass mit zunehmender Bewegungserfahrung über die Dauer des QE hinweg zunehmend alternative Bewegungsparametrisierungen inhibiert werden müssten, sodass in der Konsequenz mit steigender motorischer Expertise die QE-Dauer ansteigen sollte. Das vielfach beobachtete – und bislang nicht zufriedenstellend erklärbare – Phänomen relativ langer QE-Dauern bei Expert/innen ergibt sich damit als *direkte* Prädiktion der Inhibitionshypothese.

Spezifische Prädiktionen der Inhibitionshypothese

Wie aufgezeigt, stellt aus dem Blickwinkel theoretischer Konvergenz die Annahme eines Inhibitionsmechanismus als zentrale QE-Funktion eine attraktive Option dar. Letztlich erweist sich die Überlegenheit einer theoretischen Erklärung aber immer erst auf dem Feld der Empirie. In

das Zentrum des Interesses rücken daher spezifische empirische Vorhersagen, die sich aus einer in diesem Sinne funktionalen Erklärung des QE-Phänomens ableiten lassen. Solche Prädiktionen betreffen 1) die On- und Offline-Kontrolle von Bewegungen und die Abhängigkeit des QE-On- und Offsets von Aufgabenrandbedingungen, 2) die Aufgabenrelevanz der in der QE-Phase verarbeiteten Informationen, 3) die optimale Dauer des QE sowie 4) die Abhängigkeit der QE-Dauer von Besonderheiten der sportmotorischen Vorerfahrungen. Diese Prädiktionen werden im Folgenden im Detail ausgeführt.

(1) Nach der Inhibitionshypothese sollte das QE sowohl *Offline*- als auch *Online-Prozesse* der motorischen Kontrolle positiv beeinflussen, da über die gesamte Dauer der Aufgabenbearbeitung hinweg (Vorbereitung und Ausführung) die optimale Bewegungsvariante spezifiziert und alternative Varianten inhibiert werden müssen. Empirisch konnte der Zusammenhang zwischen Offline-Prozessen und der QE-Dauer auf Basis unterschiedlicher QE-Onsets bereits in diversen empirischen Arbeiten dokumentiert werden (vgl. „Optimierung der Bewegungsparametrisierung“). Darüber hinaus konnte aber auch gezeigt werden, dass in nahezu allen Aufgaben die Dauer des QE bis weit nach dem Moment der Bewegungsentfaltung aufrechterhalten bleibt (u. a. Vickers, 1996), sodass auch in einer späten Bewegungsphase dem QE noch eine hohe Relevanz zuzukommen scheint. Empirisch gilt es daher, die damit anzunehmende Relevanz des QE-Offsets für Inhibitionsprozesse akzentuiert zu überprüfen, zumal zu dieser Frage bis dato keinerlei Arbeiten vorliegen. Hierfür bietet sich ein experimentelles Vorgehen an, wobei analog zu aktuellen Studien (Klostermann et al., 2013) der Moment des QE-Offsets kontrolliert manipuliert werden müsste. Auch könnte zu dieser Frage ein experimenteller Ansatz verfolgt werden, der auf experimentell induzierte Interferenzen (etwa durch Zweitaufgaben; Khan, Lawrence, Buckolz & Franks, 2006) in Abhängigkeit des QE-Offsets abzielt. Vor dem Hintergrund der Inhibitionshypothese wären dabei Leistungseinbußen durch Zusatzaufgaben

immer dann zu erwarten, wenn Interferenzen vor dem Moment des QE-Offsets, aber nicht nach diesem auftreten.

In *Abgrenzung* zu den kognitionspsychologischen Ansätzen einerseits, die die Offline-Parametrisierung der Bewegung betonen, und zum psychoökologischen Ansatz andererseits, in dem die Relevanz der Online-Kontrolle hervorgehoben wird, deckt der Inhibitionsmechanismus sowohl Offline- als auch Online-Parametrisierungen ab. Die Gesamtheit der bestehenden Befundlage kann auf diese Weise auf denselben Mechanismus zurückgeführt und die bis dato herrschende Divergenz durch Konvergenz abgelöst werden.

(2) Nach der Inhibitionshypothese müssen die in der QE-Phase zu verarbeitenden Informationen eine *Relevanz für die Aufgabe* aufweisen, da etwa die Aufgabe des Basketballfreiwurfs nur dann optimal gelöst werden kann, wenn die *relevanten* Parameter den Hemmprozessen zugänglich sind, sodass die optimale Bewegungsvariante spezifiziert werden kann. Für das Basketballbeispiel bedeutet dies, dass die finale Fixation in der Tat am vorderen Rand des Korbes verankert werden sollte, um die Position des zu überwerfenden Objekts für die Bewegungsplanung und -kontrolle optimal zu prozessieren. Würde die letzte Fixation an einem für die Lösung der Aufgabe weniger relevanten Ort stabilisiert (etwa dem Netz des Basketballkorbs), wäre im Hinblick auf die Zielerreichung eine Abschirmung der Parametrisierung der optimalen Bewegungsvariante hingegen nicht vollständig möglich, da der relevante Parameter „Rand des Korbes“ nicht berücksichtigt werden kann. Experimentelle Hinweise, welche die Funktionalität einer solchen QE-Verankerung bereits vermuten lassen, findet man aktuell in drei Untersuchungen. So fanden Vickers und Lewinski (2012) in ihrer Studie mit erfahrenen und weniger erfahrenen Polizisten, dass in einer Drucksituation vor der Auslösung des Schusses entweder das zu treffende Ziel oder die eigene Waffe länger final fixiert wurde. Experimentell wurde die Bedeutung einer funktionalen QE-Verankerung von Klostermann, Koedijker und Hossner (2013) aufgezeigt, indem bei einer Zielwurfaufgabe durch die

räumliche Variation von Aufgabenzielen, welche mit exakt derselben Wurfbewegung zu erreichen waren, eine räumlich gleichgerichtete Verschiebung der QE-Verankerung beobachtet werden konnte. Ebenfalls mit einem experimentellen Ansatz konnte auch von Rienhoff, Baker, Fischer, Strauß und Schorer (2012) in einer Dartwurfauflage eine Funktionalität der QE-Verankerung aufgezeigt werden. Allerdings wurde ein Zusammenhang zwischen QE-Positionierung und Wurfpräzision nur in einer Bedingung gefunden, in der das foveale und parafoveale Blickfeld (5° visueller Blickwinkel) okkludiert und somit die Prozessierung visueller Informationen in diesem Areal verhindert wurde. Rienhoff et al. (2012) vermuten hierzu, dass in der QE-Phase nicht nur relevante Informationen aufgenommen werden, sondern möglicherweise auch die Körperposition stabilisiert wird. Alternativ mag es aber auch so sein, dass die Dartspielerinnen und -spieler mit Hilfe des Okklusionskreises die Position des Bulls Eye hinreichend bestimmen und somit auch ohne direkte Sicht auf das zu treffende Ziel Informationen zur Position des Ziels prozessieren konnten. Welche Interpretation an dieser Stelle die zutreffendere ist, gilt es empirisch zu überprüfen. Weiterführende Untersuchungen hierzu könnten auf der kontrollierten Variation der in der QE-Phase fixierten Objekte beruhen, wobei nach der Inhibitionshypothese QE-Effekte ausbleiben sollten, wenn trotz anhaltender Fixation bei vollständiger Ausblendung eines zu treffenden Ziels überhaupt keine Informationen zur Zielposition verarbeitet werden können.

In *Abgrenzung* zum Ressourcenansatz ist festzuhalten, dass dort die Aufgabendienlichkeit des QE nicht (oder zumindest nicht zwangsläufig) an die Voraussetzung der relevanten räumlichen Verankerung geknüpft ist. Für die postulierte Ressourcenschonung sollte vielmehr von Belang sein, dass vor oder während der Bewegungsausführung keine zusätzlichen visuellen Informationen verarbeitet werden müssen. Damit sollte es aber irrelevant sein, ob beim Basketballfreiwurf – bei identischer Aufrechterhaltung des QE – der Rand des Korbes oder bspw. die untere Hälfte des Netzes final fixiert wird. Die Frage, ob dies tatsächlich der Fall ist

oder ob sich die gegenteilige Prädiktion der Inhibitionshypothese empirisch bewährt, sollte Gegenstand der zukünftigen experimentellen Prüfung sein.

(3) Nach der Inhibitionshypothese sollte das QE in der Phase der Bewegungsvorbereitung so lange aufrechterhalten werden, bis die Hemmung sämtlicher alternativer Bewegungsvariationen abgeschlossen ist. Über diese Vorhersage eines QE-Onset-Mindestwerts hinaus sagt die Inhibitionshypothese aber auch voraus, dass noch frühere QE-Onsets nicht nur keinen weiteren Gewinn bringen, sondern die Bewegungsgüte gar wieder reduzieren, da in diesen Fällen die erfolgte Abschirmung aufrechterhalten werden müsste, wo doch – aus funktionaler Perspektive – bei nicht unmittelbar anstehender Bewegungsinitiierung die (erneute) Aufnahme der Suche nach überlegenen Handlungsoptionen näherläge. Eine *optimale QE-Dauer* ist darüber hinaus auch für das QE-Offset vorherzusagen, und dies vor allem dann, wenn erwartet werden darf, dass die Abschirmung abrupt beendet werden muss, um im direkten Anschluss eine Folgehandlung zu initiieren. Dies wäre bspw. beim Basketballfreiwurf immer dann der Fall, wenn es sich nach einem Foul bei einem Zweipunktewurf nicht um einen ersten Versuch handelt, sondern der Ball nach dem Wurf für Reboundversuche freigegeben ist; denn in diesem Fall müssen frühzeitig visuelle Rückmeldungen zum Gelingen oder Misslingen des Wurfs verarbeitet werden, um ggf. die Bewegung zum Rebound einzuleiten. Die Erwartung der höheren Effektivität einer optimalen als einer maximalen QE-Dauer ist bislang noch nicht auf den empirischen Prüfstand gestellt worden. In der Literatur findet man aber die diesbezüglich relevante Vermutung (Janelle et al., 2000; Wilson & Percy, 2009), dass in Anlehnung an andere psychologische Konstrukte (z. B. Arousal oder Ängstlichkeit) ein monotoner Zusammenhang zwischen QE-Dauer und Leistung eher unwahrscheinlich sei; für diese Vermutung konnten bislang jedoch nur eher unscharfe Begründungen angeführt werden (z. B. Janelle et al., 2000, S. 179: „too much of a good thing can be detrimental“). Eine tatsächliche empirische Überprüfung könnte durch eine ex-

perimentell kontrollierte Manipulation der QE-Dauer erfolgen. Positive Effekte auf die Leistung sollten dann insbesondere bei einer Vorverlegung des QE-Onsets über einen optimalen Zeitpunkt hinaus wieder abnehmen. Weiterhin sollte bei einer kontrollierten Variation von Folgeaktionen ein frühes QE-Offset vermehrt dann zu beobachten sein, wenn ein Aufgabenwechsel erwartet werden kann. Für den einfachen Basketballfreiwurf wäre dann bspw., wie oben begründet, ein späteres Offset zu prädictieren als für die Aufgabe des Basketballfreiwurfs mit anschließender Sicherung des Balls.

In *Abgrenzung* zu den kognitionspsychologischen Ansätzen bietet die Inhibitionshypothese eine theoretisch fundierte Erklärung optimaler QE-Dauern an. Im Gegensatz dazu würde auf der Basis eines Programmierungsansatzes nur schwer erklärbar sein, warum eine QE-Verlängerung über die für die Parametrisierung erforderliche Zeit hinaus zu Leistungseinbußen führen sollte. Und mit dem Wahrnehmungs-Handlungs-Ansatz wäre diese Vorhersage nur insofern kompatibel, als dass dem psychoökologischen Erklärungsrahmen eine generelle Skepsis gegenüber Prozessen jenseits der Online-Parametrisierung zu eigen ist. Die aus der Inhibitionshypothese resultierende Prädiktion eines umgekehrt U-förmigen Zusammenhangs zwischen Leistung und QE-Dauer in der Bewegungsvorbereitung ließe sich hingegen nicht aus einem Wahrnehmungs-Handlungs-Ansatz ableiten. Am ehesten ergäben sich für die Vorhersage einer optimalen QE-Dauer Bezüge zu der ressourcentheoretischen Begründung (z. B. Wilson & Percy, 2009, S. 561: „an optimal quiet eye period should actually help protect against intrusive thoughts“), da längere Dauern (in der realen, nicht experimentell kontrollierten Welt) die Chance erhöhen, dass ablenkende und damit ressourcenbindende (externe oder interne) Reize auftauchen. Genau diese Erklärung würde aber die experimentelle Abgrenzung von den Vorhersagen der Inhibitionshypothese erlauben, da leistungsmindernde Effekte überlanger QE-Dauern auf der Basis des Ressourcenansatzes allein dann zu erwarten wären, wenn solche ablenkenden Reize auftauchen – auf der Basis der

Inhibitionshypothese aber auch dann, wenn ohne solche zusätzlichen Reize allein die QE-Dauer verlängert wird. Diese unterschiedlichen Prädiktionen ermöglichen eine direkte Kontrastierung im Rahmen einer empirischen Prüfung.

(4) Nach der Inhibitionshypothese sollte die QE-Dauer aufgrund der Inhibition alternativer Bewegungsvarianten von Besonderheiten der *sportmotorischen Vorerfahrung* abhängen. Erste empirische Hinweise, die in der Tat einen Zusammenhang zwischen der Anzahl von Bewegungsvarianten und der QE-Dauer aufzeigen, wurden von Horn, Okumura, Alexander, Gardin und Sylvester (2012) geliefert. Dabei wiesen Teilnehmer/innen, die durch variables Üben fortwährend Bewegungsvarianten parametrisierten und sich damit vertieft mit der Lösung einer Dartaufgabe auseinandersetzten, in der Aneignungsphase deutlich längere QE-Dauern auf als eine geblockt übende Gruppe. Leider fehlt in dieser Studie ein gruppenvergleichender Test auf überdauernde Lerneffekte, denn auf diesem Befund aufbauend wäre auf Basis der Inhibitionshypothese vorherzusagen, dass auch in solchen Retentionstests QE-Effekte verstärkt dann sichtbar werden, wenn zuvor variabel trainiert wurde. Spezifisch zu präzisieren wäre auch, dass bei einem Retentionstestvergleich einer Gruppe, die stark unterschiedliche Bewegungsvarianten übte, mit einer Gruppe, deren Bewegungsvarianten bei identischen Verarbeitungsanforderungen eine größere Ähnlichkeit aufwiesen, die Teilnehmer/innen der zweitgenannten Gruppe längere QE-Dauern zeigen, da bei ihnen die letztlich parametrisierte Variante schwieriger gegen die erlernten Alternativen abzuschirmen wäre.

In *Abgrenzung* zu allen anderen der diskutierten Ansätze bietet der angenommene Inhibitionsmechanismus eine Erklärung für relativ lange QE-Dauern bei Expert/innen im Vergleich zu Nichtexpert/innen an. Während der psychoökologische Ansatz zu Prozessen der Bewegungsvorbereitung stumm bleibt (und ihre Bedeutung in gewisser Weise sogar grundsätzlich bestreitet), kann der Ansatz der optimierten Bewegungsparametrisierung diesen Befund nicht erklären, da im Zuge des Lernens nachweisbare Opti-

mierungsprozesse eher eine Verkürzung als eine Verlängerung der in der Bewegungsvorbereitung ablaufenden Parametrisierungen erwarten lassen. Und auch auf Basis der optimierten Nutzung von Aufmerksamkeitsressourcen gelingt keine zufriedenstellende Erklärung, da sich mit zunehmender motorischer Erfahrung die motorische Kontrolle von einem attentionalen zu einem nicht-attentionalen System verlagern sollte (Beilock, Carr, MacMahon & Starkes, 2002), sodass die Notwendigkeit einer optimierten Kontrolle der limitierten kognitiven Ressourcen eher zurückgehen als ansteigen sollte. Sämtliche Prädiktionen von Effekten der Struktur der Lernphase auf in Retentionstests zu beobachtende QE-Dauern sind daher als spezifisch für die Inhibitionshypothese anzusehen.

Fazit

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass der postulierte Inhibitionsmechanismus aus einer evolutionär-funktionalen Perspektive ein aussichtsreicher Ansatz zur umfassenden Erklärung der Leistungsdienlichkeit längerer QE-Dauern bei Aufgaben mit hohen Präzisionsanforderungen darzustellen scheint. Im Gegensatz zu den bisher vorliegenden Erklärungen der optimierten Bewegungsparametrisierung, Aufmerksamkeitsressourcennutzung oder Wahrnehmungs-Handlungs-Kopplung werden in der Inhibitionshypothese die beteiligten Funktionsprozesse klar ausformuliert. Aufgrund des funktionalen Erklärungsrahmens wird zudem der bestehenden empirischen Befundlage zur Bedeutung der finalen Fixation für Offline- und Onlineprozesse der motorischen Kontrolle eine Konvergenzbasis bereitgestellt. Nicht nur bietet die Hypothese eine Erklärung des bis dato ungelösten Problems erfahrungsabhängiger QE-Dauern an, sie erlaubt auch die Ableitung weiterer spezifischer Prädiktionen, sodass auf empirischer Ebene eine fundierte Überprüfung des postulierten Mechanismus erfolgen kann. Die Resultate zukünftiger empirischer Tests der Inhibitionshypothese werden erstens zeigen, inwieweit sich der vorgestellte Hemmmechanismus für die Aufklärung einer Funktionalität

des QE im Kontext sportmotorischer Präzisionsaufgaben als tragfähig erweist, und zweitens, ob eine Ausweitung der Hypothese auf nichtpräzisionsbezogene Aufgaben ein aussichtsreiches Unterfangen darstellt.

Korrespondenzadresse



A. Klostermann
Institut für Sportwissenschaft
Abteilung Bewegung und
Training, Universität Bern
Bremgartenstrasse 145
3012 Bern
andre.klostermann@ispw.
unibe.ch

Danksagung. Der Autor bedankt sich bei Ernst-Joachim Hossner für umfassende Diskussionen des vorgestellten Ansatzes und hilfreiche Anmerkungen zu früheren Versionen dieses Beitrags.

Interessenkonflikt. A. Klostermann gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- Allport, A. (1987). Selection for action: Some behavioral and neurophysiological considerations of attention and action. In H. Heuer & A. F. Sanders (eds.), *Perspectives on perception and action* (pp. 395–419). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Behan, M., & Wilson, M. (2008). State anxiety and visual attention: The role of the quiet eye period in aiming to a far target. *Journal of Sport Sciences*, 26, 207–215.
- Beilock, S. L., & Carr, T. H. (2001). On the fragility of skilled performance: What governs choking under pressure? *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 701–725.
- Beilock, S. L., Carr, T. H., MacMahon, C., & Starkes, J. L. (2002). When paying attention becomes counterproductive: Impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8, 6–16.
- Causser, J., Bennett, S. J., Holmes, P. S., Janelle, C. M., & Williams, A. M. (2010). Quiet eye duration and gun motion in elite shotgun shooting. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 1599–1608.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201–215.
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: attentional control theory. *Emotion*, 7, 336–353.
- Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). *Human performance*. Oxford: Brooks and Cole.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Göhner, U. (1992). *Bewegungslehre des Sports. Teil 1: Die sportlichen Bewegungen*. Schorndorf: Hofmann.
- Henry, F. M., & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movements and a „memory drum“ theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, 31, 448–458.

- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11–26.
- Horn, R. H., Okumura, M. S., Alexander, M. G. F., Gardin, F. A., & Sylvester, C. T. (2012). Quiet eye duration is responsive to variability of practice and to the axis of target changes. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 83, 204–211.
- Janelle, C. M., Hillman, C. H., Apparies, R. J., Murray, N. P., Meili, L., Fallon, E. A., & Hatfield, B. D. (2000). Expertise differences in cortical activation and gaze behavior during rifle shooting. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 22, 167–182.
- Jahanshahi, M., & Hallett, M. (2003). The Bereitschaftspotential: what does it measure and where does it come from? In M. Jahanshahi & M. Hallett (eds.), *The Bereitschaftspotential: movement-related cortical potentials* (pp. 1–18). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Khan, M. A., Lawrence, G., Buckolz, E., & Franks, I. M. (2006). Programming strategies in simple and choice reaction time rapid aiming tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 524–542.
- Klapp, S. T. (2010). Comments on the classical Henry and Rogers (1960) paper on its 50th anniversary: Resolving the issue of simple versus choice reaction time. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 81, 108–112.
- Klostermann, A., Koedijker, J., & Hossner, E. J. (2013). Zielinstruktionen, räumliche Quiet-Eye-Verankerung und Bewegungsparametrisierung: Hinweise auf einen Wirkmechanismus. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 20, 59–64.
- Klostermann, A., Kredel, R., & Hossner, E. J. (2013). The „Quiet Eye“ and motor performance: Task demands matter! [Electronic Version]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 39. doi:10.1037/a0031499
- Kontinen, N., Lyytinen, H., & Era, P. (1999). Brain slow potentials and postural sway behavior during sharpshooting performance. *Journal of Motor Behavior*, 31, 11–20.
- Mann, D. T. Y., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: a meta-analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29, 457–478.
- Mann, D. T. Y., Coombes, S. A., Mousseau, M. B., & Janelle, C. M. (2011). Quiet Eye and the Bereitschaftspotential: visuomotor antecedents to expert motor performance. *Cognitive Processing*, 12, 223–234.
- Maslovat, D., Hodges, N., Chua, R., & Franks, I. M. (2011). Motor Preparation of Spatially and Temporally Defined Movements. *Journal of Neurophysiology*, 106, 885–894.
- Moore, L. J., Vine, S. J., Cooke, A., Ring, C., & Wilson, M. R. (2012). Quiet eye training expedites motor learning and aids performance under heightened anxiety: The roles of response programming and external attention. *Psychophysiology*, 49, 1005–1015.
- Neumann, O. (1992a). Informationsverarbeitung, künstliche Intelligenz und die Perspektiven der Kognitionspsychologie. In O. Neumann (Hrsg.), *Perspektiven der Kognitionspsychologie* (S. 3–38). Berlin: Springer Verlag.
- Neumann, O. (1992b). Theorien der Aufmerksamkeit: von Metaphern zu Mechanismen. *Psychologische Rundschau*, 43, 83–101.
- de Oliveira, R. F., Oudejans, R. R. D., & Beek, P. J. (2006). Late information pick-up is preferred in basketball jump shooting. *Journal of Sports Sciences*, 24, 933–940.
- de Oliveira, R. F., Huys, R., Oudejans, R. R. D., van de Langenberg, R., & Beek, P. J. (2007). Basketball jump shooting is controlled online by vision. *Experimental Psychology*, 54, 180–186.
- de Oliveira, R. F., Oudejans, R. R. D., & Beek, P. J. (2008). Gaze behavior in basketball shooting: Further evidence for online visual control. *Research Quarterly of Exercise and Sports*, 79, 399–404.
- Oudejans, R. R. D., van de Langenberg, R. W., & Hutten, R. I. (2002). Aiming at a far target under different viewing conditions: visual control in basketball jump shooting. *Human Movement Science*, 21, 457–480.
- Rienhoff, R., Baker, J., Fischer, L., Strauß, B., & Schorer, J. (2012). Field of vision influences sensory-motor control of skilled and less-skilled dart players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11, 542–550.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225–260.
- Vickers, J. N. (1992). Gaze control in putting. *Perception*, 21, 117–132.
- Vickers, J. N. (1996). Visual control when aiming at a far target. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 342–354.
- Vickers, J. N. (2007). *Perception, cognition, and decision training. The quiet eye in action*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Vickers, J. N. (2009). Recent advances in coupling perception and action: The quiet eye as a bidirectional link between the gaze, focus of attention and action. In M. Raab, J. Johnson, & H. Heekeren (eds.), *Progress in brain research 174: Mind and motion: The bidirectional link between thought and action* (pp. 279–288). The Netherlands: Elsevier.
- Vickers, J. N. (2011). Mind over muscle: The role of gaze control, spatial cognition, and the quiet eye in motor expertise. *Cognitive Processing*, 12, 219–222.
- Vickers, J. N., & Lewinski, W. (2012). Performing under pressure: Gaze control, decision making and shooting performance of elite and rookie police officers. *Human Movement Science*, 31, 101–117.
- Vickers, J. N., & Williams, A. M. (2007). Performing under pressure: The effects of physiological arousal, cognitive anxiety, and gaze control in biathlon. *Journal of Motor Behavior*, 39, 381–394.
- Vine, S. J., & Wilson, M. R. (2010). Quiet eye training: Effects on learning and performance under pressure. *Journal of Applied Sport Psychology*, 22, 361–376.
- Vine, S. J., & Wilson, M. R. (2011). The influence of quiet eye training and pressure on attention and visuomotor control. *Acta Psychologica*, 136, 340–346.
- Williams, A. M., Singer, R. N., & Frehlich, S. G. (2002). Quiet eye duration, expertise, and task complexity in near and far aiming tasks. *Journal of Motor Behavior*, 34, 197–207.
- Wilson, M. R., & Pearcey, R. (2009). On the right line: the visuomotor control of straight and breaking golf putts. *Perceptual Motor Skills*, 109, 555–562.
- Wilson, M. R., Vine, S. J., & Wood, G. (2009). The influence of anxiety on visual attentional control in basketball free throw shooting. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 31, 152–168.